



**Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Manresa**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

## TRABAJO FINAL DE MASTER

Máster

Ingeniería de Minas

Tema

COMPARACION DE NORMAS INTERNACIONALES PARA  
SU APLICACIÓN EN LA REPUBLICA DOMINICANA EN  
VOLADURAS.

Autor

Pedro Manuel de los Santos Batista

Tutor

Juan Bautista Menéndez Arias

Eje Central

Explosivos

Fecha

Julio 2016

# Índice

<b>1- Introducción .....</b>	<b>1</b>
Summary.....	2
<b>2- Agradecimientos .....</b>	<b>3</b>
<b>3- Planteamiento del problema .....</b>	<b>4</b>
<b>4- Objetivos .....</b>	<b>5</b>
• Objetivo General .....	5
• Objetivos Específicos.....	5
<b>5- Conceptos Ondas Sísmicas y Parámetros Normativos .....</b>	<b>6</b>
5.1 Concepto de esfuerzo .....	6
5.2 Que son las ondas sísmicas .....	8
5.3 Tipos de ondas .....	8
5.4 Frecuencia.....	12
5.5 Importancia de normas en el correcto uso de explosivos .....	14
<b>6- Parámetros de normativas internacionales.....</b>	<b>15</b>
6.1 Norma Española UNE (22-381-93).....	15
6.2 Norma alemana DIN 4150 .....	20
6.3 Estados Unidos Federal USBM R18507.....	26
6.4 Norma Italiana UNI 9916.....	27
6.5 Normas Francesas (AFTES y recomendación de Medio Ambiente) .....	30
6.6 Datos del suelo dominicano en función de ondas sísmicas .....	33
<b>7- Comparación Cualitativa entre normativas .....</b>	<b>38</b>
7.1 Comparativa para rango de frecuencias bajas.....	38
7.2 Comparativa para rango de frecuencias medias.....	39
7.3 Comparativa para rango de frecuencias altas.....	41
7.4 Grafico para todas las frecuencias en estructuras de tipo I.....	42
7.5 Grafico para todas las frecuencias en estructuras de tipo II .....	43
7.6 Grafico para todas las frecuencias en estructuras de tipo III.....	44
<b>8- Conclusiones .....</b>	<b>45</b>
<b>9- Bibliografías Consultadas .....</b>	<b>46</b>



# 1- Introducción

Una parte importante para el control de las vibraciones causadas por voladuras se logra con la aplicación de normativas con objeto de controlar las ondas que son generadas al aplicar explosivos en una voladura, en este caso siendo por actividad minera y obra civil.

En el ámbito internacional las vibraciones producidas por voladuras se han producido una serie de normas las cuales nos permiten estudiar estas vibraciones que en caso de no ser controladas podrían tener efectos en menor o mayor grado en edificaciones aledañas a donde son producidas estas.

La investigación busca dar a denotar cuál de estas normas internacionales acota más los efectos de las vibraciones producidas en actividades que involucren el uso de explosivos para su aplicación en la Republica Dominicana, ya que muchas edificaciones presentes sufren el efecto llamado columna corta y sabiendo esto las vibraciones pueden afectar en menor o mayor grado las edificaciones cercanas a este tipo de actividades.

## Summary

An important part for the control of vibrations caused by blasting is achieved with the application of regulations with the objective of controlling the waves generated by the use of explosives during a blasting for mining and civil work.

In the international arena, a sort of regulations are applied to control vibrations caused by blasting that if not controlled could have adverse effects in surrounding buildings.

These research seeks to denote which of these international standards better narrows the effects of vibrations on activities involving the use of explosives for its application in the Dominican Republic since most of the actual buildings suffer the effect of short column and given this fact the vibrations can affect in a greater or lesser degree buildings that are nearby such activities.

## 2- Agradecimientos

**A Dios:** Por ser mi guía y mi dador de paz en los momentos más duros de mi vida, el solo hecho de esta experiencia lejos de mi familia Dios me brindo toda la tranquilidad para afrontarlo por lo que estoy más que agradecido.

### **A mi padre: Pedro Dolores de los Santos Payano**

Por siempre servirme de ejemplo y apoyo incondicional que siempre me has brindando, estando presente en todo momento importante que te he necesitado en mi vida, espero que este nuevo logro te siga enorgulleciendo de lo que es tu ejemplo.

### **A mi madre: Deydi Magnolia Batista Figuereo**

Quiero darte todas las gracias por la madre que has sido para mí, sin tu rol como madre estoy totalmente seguro que hoy no podría estar a donde he llegado, siempre me has apoyado en todo lo que he emprendido y el hecho de venir tan lejos a estudiar me lo ha demostrado aún más, este logro también es tuyo.

### **A mi Hermana: Aura Priscel de Los Santos Batista**

Gracias también por siempre brindarme tu apoyo y saber qué crees mucho en mí, espero poder seguir siendo tu ejemplo a seguir y que este nuevo logro te sirva de apoyo para que también logres todas tus próximas metas.

### **A mi tutor/Profesor: Juan Bautista Menéndez Arias**

Agradezco profundamente el haber tenido la oportunidad de haber sido un alumno de usted en su trayectoria como profesor, con usted reafirme más la creencia de que todo con estudio y razonamiento se puede lograr y eso es un valor que quiero seguir aplicando durante vida tenga por lo que le agradezco mucho.

**A todas mis amistades:** Aquí englobo a todas mis amistades ya que también ustedes son una parte muy importante en mi vida, el saber que cuento con amigos que para cualquier cosa que necesite estarán para mí, es algo infinito de agradecer, gracias por haberme apoyado en esta decisión de venir tan lejos, muchas gracias!.

### 3- Planteamiento del problema

En la Republica Dominicana la industria minera está sufriendo muchos desarrollos, ya que es una industria que está tomando fuerza en los últimos años, por tal motivo en lo que se refiere a tema de legislación aún quedan muchos asuntos pendientes por tratar.

República Dominicana no solo está teniendo desarrollo en el área minera, este desarrollo también está presente en el sector de la infraestructura lo que se puede ver en todas las autovías y carreteras que se están construyendo en los últimos años.

Actualmente muchas construcciones en la isla sufren de un efecto llamado columna corta y este efecto va relacionado a como se transmite el esfuerzo cortante a las estructuras, por tal motivo en los próximos años la Republica Dominicana debe contar con una reglamentación o una guía para controlar estos temas.

Todas estas actividades emplean el uso de explosivos y como tal aun este tema no se regula desde el estado Dominicano, por lo que pensando a futuro el estudio de estas normas podría servir como guion para luego confeccionar unas normas que los ingenieros en la Republica Dominicana puedan utilizar.

## 4- Objetivos

- Objetivo General

Evaluar las metodologías con las normas propuestas para las vibraciones provenientes de voladuras mineras para su correcta aplicación en la Republica Dominicana buscando poder dotar de una guía para controlar las voladuras mineras

- Objetivos Específicos

A) Estudiar los diferentes parámetros que toma cada norma con respecto a las vibraciones

B) Conocer cuál de las normas es más restrictiva en términos de frecuencia y velocidad de partícula

C) Dotar de una guía para futuras elaboraciones de una norma propia en la Republica Dominicana

D) Comparar todos los parámetros de cada norma para saber cuál es más segura en términos de vibraciones



# 5- Conceptos Ondas Sísmicas y Parámetros Normativos

## 5.1 Concepto de esfuerzo

Como las fuerzas de vibraciones se transmiten perpendicularmente con respecto a la estructuras, las estructuras la reciben como una fuerza cortante (Muros, Columnas) por tal motivo es importante tener claro el concepto de lo que es un esfuerzo y un esfuerzo cortante.

Según **Robert L. Mott en su libro (Resistencia de materiales Aplicada)**, un esfuerzo es la resistencia interna que ofrece un área unitaria del material que está hecho un miembro para soportar una fuerza aplicada externamente, como estos esfuerzos vienen por la acción de una carga externa la fórmula de esfuerzo puede ser descrito de la siguiente forma

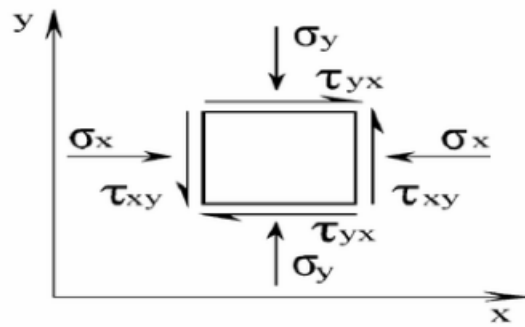
$$\text{Esfuerzo} = F/A$$

**Donde:**

**F**=Fuerza

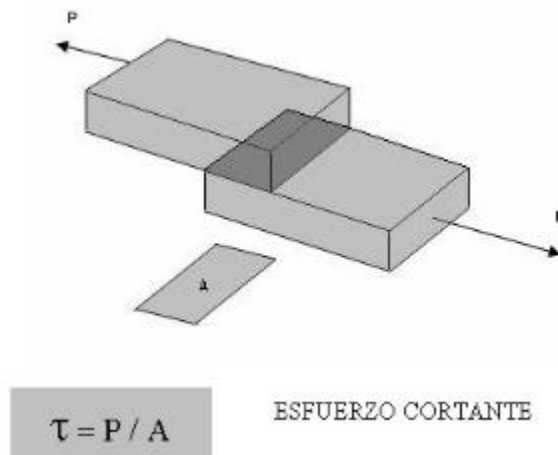
**A**=Area

Cuando la fuerza se distribuye en toda la sección del miembro afectado a esto se le llama esfuerzo normal.



**Imagen 1- Como actúan los esfuerzos Normales**

Debe existir fuerzas internas en el plano de la sección y que su resultante debe ser igual a P. estas fuerzas internas elementales se llaman fuerzas cortantes y la magnitud P de su resultante es el cortante en la sección. Dividiendo la fuerza cortante P por el área A de la sección obtenemos en el esfuerzo cortante promedio en la sección.



**Imagen 2** Como actúa el esfuerzo cortante

## 5.2 Que son las ondas sísmicas

Las ondas sísmicas son la propagación de perturbaciones temporales generadas por pequeños movimientos en un medio. Estas ondas que se originan en el interior de la corteza terrestre, debido a repentinos desplazamientos en fallas o hendiduras en la tierra, se propagan hacia la superficie terrestre originando terremotos o movimientos sísmicos de baja intensidad. Lo cual nos indica que dichas perturbaciones generan energía que es difundida hacia fuera en forma de ondas sísmicas.

La velocidad de las ondas depende, como ocurre en todas las manifestaciones ondulatorias, de las propiedades del medio; fundamentalmente de la elasticidad y densidad de los materiales por los cuales se propaga. En el interior de la corteza terrestre se producen dos tipos de ondas sísmicas que viajan a través de la tierra, y que son conocidas como ondas de cuerpo u ondas internas, las cuales pueden ser compresionales (ondas P) o de corte (ondas S).

## 5.3 Tipos de ondas

### Ondas P

Las ondas P, o primarias, son ondas que se transmiten cuando las partículas del medio se desplazan en la dirección de propagación, produciendo compresiones y dilataciones en el medio. Por ejemplo, si se comprime un extremo de un resorte y luego se suelta, el material comprimido se extiende, comprimiendo las partículas que se encuentran a su alrededor.

Las ondas P en el aire son simplemente ondas sonoras y la velocidad del sonido es sobre 340 m/s a temperatura ordinaria. El agua puede soportar ondas P, pero no ondas S. La velocidad de estas ondas P (velocidad del sonido) en agua es unos 1450 m/s. Las ondas P, dependen del módulo de bulk de elasticidad del material, así como de su densidad. La velocidad de onda en un material sólido como el granito, puede ser unos 5000 m/s. Las ondas P de los terremotos llegan

primero, pero debido a sus pequeñas amplitudes, no producen tanto daño como las ondas S y las ondas superficiales que le siguen.



**Imagen 3 Ondas S**

Las ondas S (SECUNDARIAS) son ondas transversales o de corte, lo cual significa que el suelo es desplazado perpendicularmente a la dirección de propagación, alternadamente hacia un lado y hacia el otro. Las ondas S pueden viajar únicamente a través de sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte. Usualmente la onda S tiene mayor amplitud que la P y se siente más fuerte que ésta.

Las ondas S son ondas transversales que implican movimiento de tierra perpendicular a la velocidad de propagación. Viajan sólo a través de los sólidos, y la ausencia de ondas S detectadas a grandes distancias de los terremotos, fue el primer indicio de que la Tierra tiene un núcleo líquido. Las ondas S viajan típicamente al 60% de la velocidad de las ondas P. Suelen ser más perjudiciales que las ondas P, ya que son varias veces superiores en amplitud.



**Imagen 4, propagación ondas S**

## Ondas de Rayleigh

Cuando un sólido posee una superficie libre, como la superficie de la tierra, pueden generarse ondas que viajan a lo largo de la superficie. Estas ondas tienen su máxima amplitud en la superficie libre, la cual decrece exponencialmente con la profundidad, y son conocidas como ondas de Rayleigh en honor al científico que predijo su existencia. La trayectoria que describen las partículas del medio al propagarse la onda es elíptica retrógrada y ocurre en el plano de propagación de la onda. Una analogía de estas ondas lo constituyen las ondas que se producen en la superficie del agua.

Las ondas Rayleigh u ondas de rodillo terrestres, causan el movimiento de la superficie del suelo hacia arriba y hacia abajo. Se propagan a aproximadamente 90% de la velocidad de las ondas S. Las ondas Love implican movimiento de la tierra de lado a lado, perpendicular a la velocidad de propagación. Por lo general, viajan un poco más rápido que las ondas de Rayleigh.

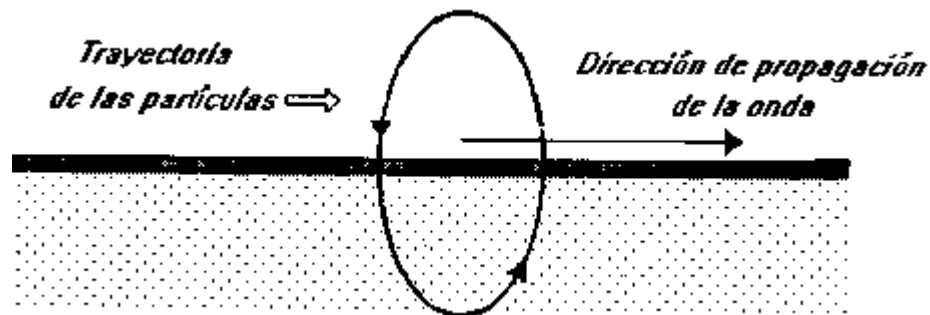


Imagen 5- Trayectoria

## Ondas de Love

Otro tipo de ondas superficiales son ondas de Love llamadas así en honor del científico que las estudió. Estas se generan sólo cuando un medio elástico se encuentra estratificado, situación que se cumple en nuestro planeta pues se encuentra formado por capas de diferentes características físicas y químicas.

Las ondas de Love se propagan con un movimiento de las partículas, perpendicular a la dirección de propagación, como las ondas S, sólo que polarizadas en el plano de la superficie de la Tierra, es decir sólo poseen las componentes horizontales a superficie. Las ondas de Love pueden considerarse como ondas S “atrapadas” en la superficie. Como para las ondas de Rayleigh, la amplitud de las mismas decrece rápidamente con la profundidad. En general su existencia se puede explicar por la presencia del vacío o un medio de menor rigidez, tiende a compensar la energía generando este tipo especial de vibraciones.

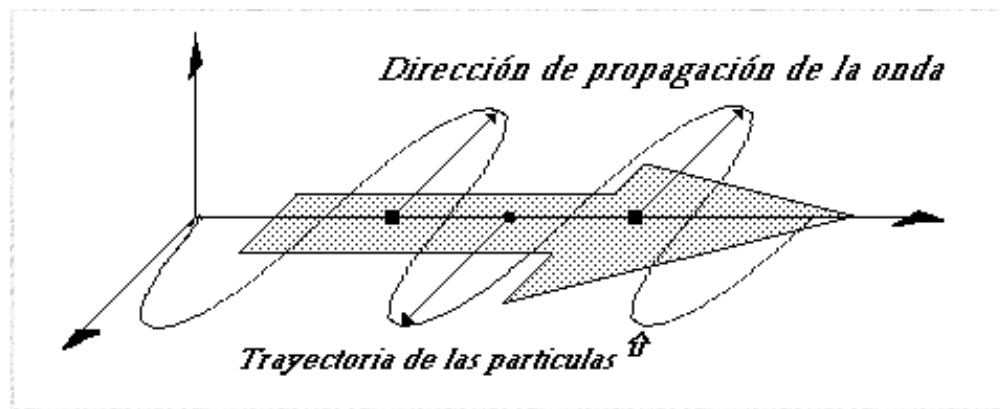
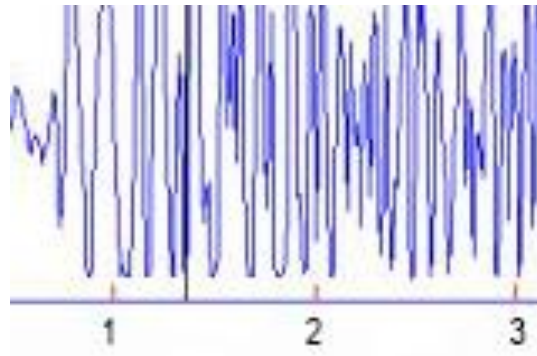


Imagen 6, propagación de la onda

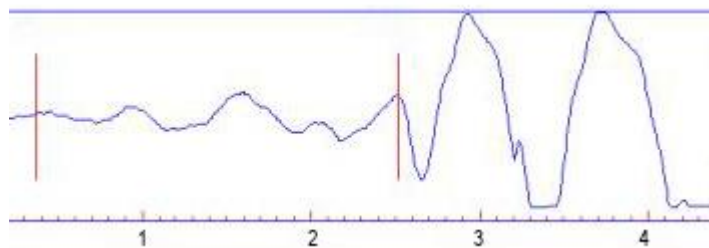
## 5.4 Frecuencia

Las primeras cosas que se deben tener en cuenta cuando se quieren estudiar los daños causados por la vibración en las estructuras es la velocidad con que viaja la onda

En países como Japón donde el problema sísmico es muy frecuente, se están haciendo estudios para ver cómo influyen las ondas de periodo corto y las de periodo largo ya que se han experimentado fuertes sacudidas (Caso terremoto de Kobe), por lo que esto nos deja dicho que diferentes longitudes de ondas hacen responder las estructuras de diferentes formas.



**Imagen 7 ondas de periodo corto**



**Imagen 8 Ondas de periodo Largo**

Longitud de onda. La distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos es lo que llamamos longitud de onda. La longitud de onda de una onda describe cuán larga es la onda. Las ondas de agua en el océano, las ondas de aire, y las ondas de electromagnética tienen longitudes

de ondas. La longitud de onda representa la distancia real recorrida por una onda que no siempre coincide con la distancia del medio o de las partículas en que se propaga la onda.

La fórmula general para la longitud de onda es la siguiente:

$$\lambda = c / f.$$

**Donde:**

$\lambda$  = Longitud de onda

c = Velocidad de la onda

f = Frecuencia asociada a la onda

Las estructuras reaccionan ante los movimientos vibratorios, ejemplos de estos tenemos los sismos o actividades provocadas por el hombre como la utilización de explosivos en actividades que los involucren (minería, obra civil, etc.). Dichas ondas tienen características específicas que las definen, como son la longitud, periodo, velocidad de partícula, ante tal necesidad existen normativas que están adaptadas a cada país para poder controlar los daños que estas puedan ocasionar, siempre y cuando vengan de actividades controladas por el hombre.

En las presentes normas que estudiaremos este es un parámetro que hay que tener en cuenta ya que existe una relación entre la frecuencia de las ondas vibratorias y los daños que estas provocan, se ha demostrado en estudios en Japón por el problema sísmico que existe actualmente en ese país, que ondas con movimientos de periodo largo que por esta característica son ondas de frecuencia baja, afectan más a los edificios de gran altura y en caso contrario las ondas de periodo corto que son las que más frecuencia tienen, estas son más mortíferas para los edificios de menor altura.



## 5.5 Importancia de normas en el correcto uso de explosivos

Los explosivos tienen la particularidad de que son muy peligrosos, por tal motivo el uso de estos debe estar rigurosamente monitoreado por tal motivo en los países donde existe una minera desarrollada se ha legislado y trabajado para que exista una normativa o una ley que regule estos temas, ya que el no correcto uso de los explosivos puede llevar a grandes daños (Edificios, viviendas, personas etc.) por lo que en países subdesarrollados como en América Latina aún no se controlan todos estos temas. Por tal motivo es una necesidad que los países donde se hacen actividades que involucren el uso de explosivos, se desarrollen normas que controlen este tipo de actividades.

También es importante considerar las características propias de las vibraciones, o sea, la frecuencia, la repetitividad y la duración del fenómeno. Se puede decir que un edificio sufre daños, si los impulsos dinámicos provocados por las vibraciones se superponen a los impulsos estáticos, llevando a una superación de las condiciones de resistencia de la estructura.

Cuando no es posible, partiendo solo de las medidas de velocidad, obtener los valores de desplazamiento y los impulsos, es necesario recurrir a tablas empíricas de daños, correlacionando, de varios modos, las características más evidentes del fenómeno. Ese es el camino sugerido por la mayor parte de las normas.

Partiendo de que en República Dominicana no existen normas específicas sobre el tema, serán presentadas, algunas normas internacionales relacionadas con los niveles permisibles de vibración derivada del uso de explosivos en cualquier tipo de actividad que amerite el uso de ellos mismos.

## 6- Parámetros de normativas internacionales

### 6.1 Norma Española UNE (22-381-93)

La Norma UNE 22-381 es la norma que controla todo lo que tiene que ver con la utilización de explosivos en España, esta norma se apoya en la norma Alemana **DIN 4150** ya que antes de esta norma era la alemana que se aplicaba en España.

Esta norma se ejecuta en todos los trabajos que se lleve a cabo la utilización de explosivos como eje central de la actividad, dentro de estos tipos de trabajos tenemos: Minería, obras de carreteras, demolición de edificios, remoción de terreno a gran escala etc.

Como ya es sabido la norma UNE 22-381 nos presenta una clasificación de las estructuras, las cuales son:

- **Grupo I:** Edificios y naves industriales
- **Grupo II:** Edificios de viviendas, oficinas, centros comerciales y de recreación, edificios de estructuras de valor arqueológico, arquitectónico o histórico que por su fortaleza no representan sensibilidad a vibraciones sísmicas.
- **Grupo III:** Estructuras de valor arqueológico, arquitectónico o histórico que si presentan debilidad contra vibraciones sísmicas.

En los siguientes recuadros podemos ver para la relación que la norma española estudia la frecuencia entre los espacios comprendidos; entre 2 y 15 Hertz, luego entre 15 y 75 Hertz y las que pasen los 75 Hertz, también nos muestra el tipo de edificio o estructura que se verá afectado por este.

La norma **UNE 22-381** presenta diferentes variaciones con respecto a la velocidad como podemos ver en el recuadro donde se expone cómo va la velocidad en función con la frecuencia a que esta esté sometida, donde tenemos un valor mínimo y un valor máximo comprendido entre esas frecuencias.

En tabla la **9** se puede observar los valores máximos para la seguridad de la estructura en función del tipo de estructura que se vea afectada por las vibraciones, por lo que se entiende que la vibración no podrá exceder la velocidad que se indica en la tabla siguiente.

### **Criterio Prevención de Daños**

**Tabla (Velocidad, frecuencia y desplazamiento)**

		2-15 HZ	15-75HZ	>75 HZ
		<b>Velocidad mm/s</b>	<b>Desplazamiento mm</b>	<b>Velocidad mm/s</b>
<b>Tipo de estructura</b>	I	20	0,212	100
	II	9	0,095	45
	III	4	0,042	20

**Tabla 9- Norma UNE22-381**

En la tabla **9** nos explica claramente cómo van las velocidades pero tal como expone la norma, se puede notar que en las frecuencias que van de 15Hz a 75Hz hay que calcular la velocidad en función del desplazamiento.

$$V = 2 * \pi * f * d.$$

**Donde:**

V = velocidad en mm/s.

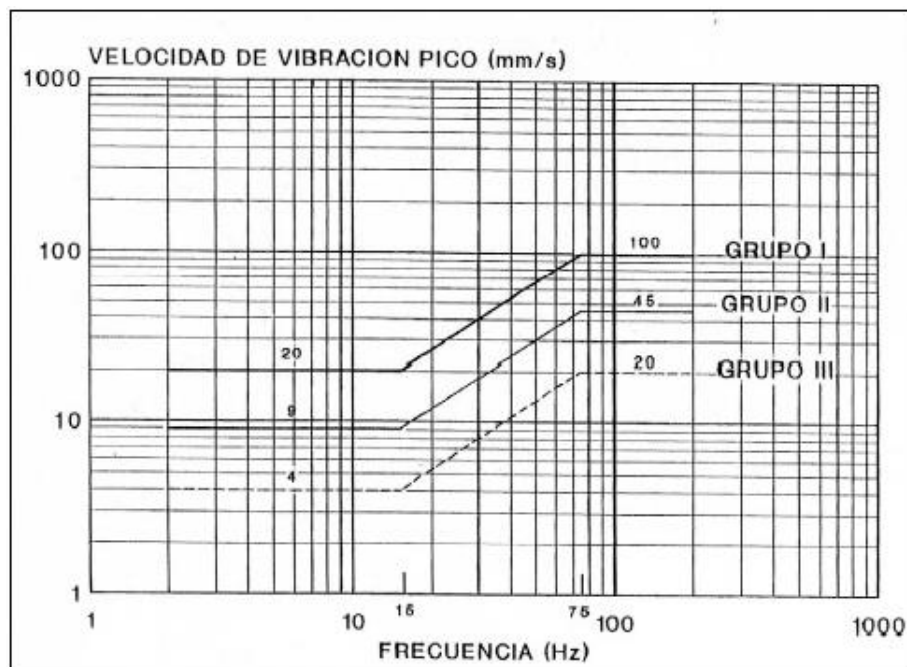
$$\pi = 3,1416.$$

$f$  = frecuencia en Hz.

$d$  = desplazamiento permisible indicado en la norma

En el grafico **10** podemos observar una gráfica que muestra la relación de la Frecuencia con la velocidad pico según la norma UNE 22-381, dependiendo del tipo de frecuencia y su velocidad también podremos saber si cumple con el requisito para el grupo de edificio que se encuentra cerca.

Este grafico va asociado a lo que se conoce como criterio de prevención de daños.



**Grafico – 10 Norma UNE 22-381**

La norma UNE 22-381 dependiendo de cómo actué la distancia de la carga con la posible área afectada, relacionando esto con la carga corregida nos recomendará que tipo de estudios debemos hacer antes de someter la voladura a su ejecución, dichos estudios son los siguientes:

Estos son los estudios que la norma UNE 22-381 recomienda.

➤ **Proyecto tipo:**

La carga operante de explosivo es tan baja para la distancia que las ondas emitidas tras la explosión no presentan peligro por lo que presentando el gráfico y el punto de la voladura para la norma **UNE 22-381** sería suficiente.

➤ **Proyecto de control de vibraciones**

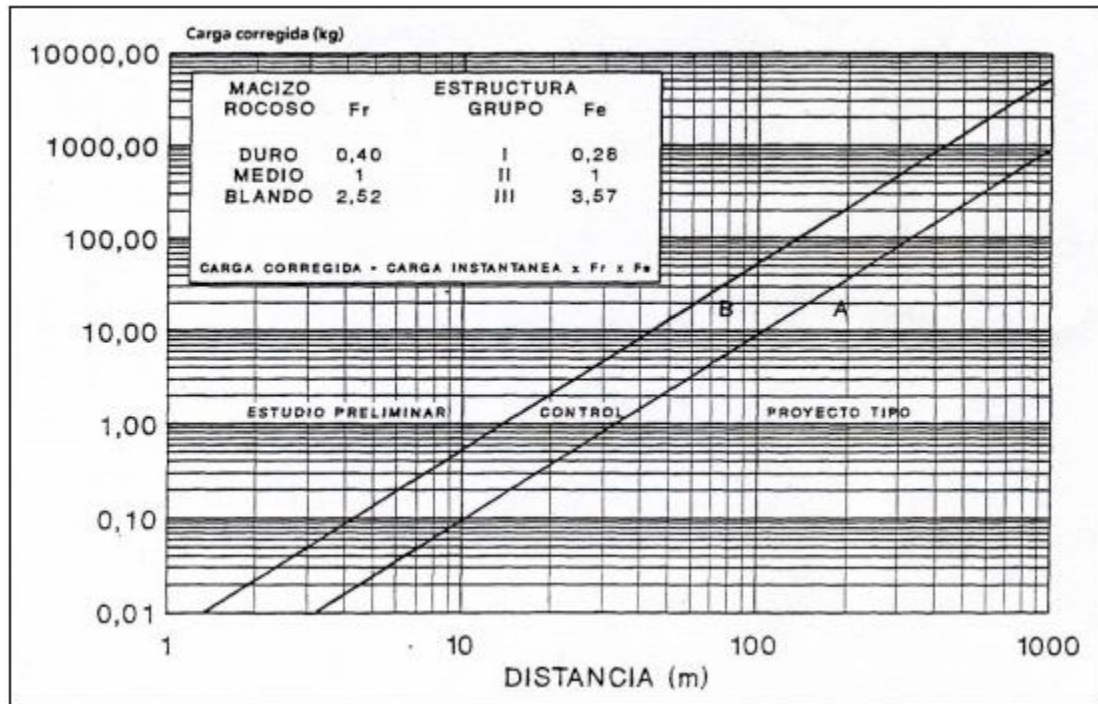
Implica la medición del nivel de vibración de una voladura en el punto definido. En este tipo de estudios tienen que obtenerse una cantidad de datos importantes los cuales son:

- Carga Operante
- Carga por cada secuencia y secuencia empleada en la misma
- Distancia a la estructura
- Velocidad de vibración pico para cada componente y frecuencia asociada
- Ubicación del punto de disparo y de donde se coloca el sismógrafo
- Breve descripción del terreno
- Datos técnicos del sismógrafo

➤ **Estudio preliminar.**

Es necesario en circunstancias de trabajo tales que sea necesario conocer todas las características del terreno y sus propiedades geofísicas. Un ejemplo de esto es cuando tenemos distancias muy cerca a las estructuras y una carga operante apreciable, se necesitaría conocer todas las características geofísicas importantes del terreno para poder obtener una ley de transmisión de onda para esa voladura en esas condiciones. Medir la onda en sus componentes transversal, longitudinal y vertical.

En el grafico **11** podemos ver claramente como la norma UNE 22-381 establece sus criterios para el tipo de estudio que se va a realizar en base ciertos parámetros que la misma establece, como son el tipo de terreno y el tipo de estructura que pueda ser afectada.



**Grafico 11- Norma UNE 22-381**

La norma **UNE 22-381** tiene la facilidad de que es muy fácil en su utilización, será suficiente con conocer el tipo de terreno sobre el que está asentado la estructura, lo que nos

permitirá elegir un valor de **Fr** o factor roca, lo mismo pasa con el valor de **Fe** o factor estructura que vendrá en función del tipo de estructura que estemos afectando. Como ya se ha visto en la misma norma, se contemplan 3 tipos de terrenos los cuales son: duro, medio y blando.

Según la norma **UNE 22-381** nos define los 3 tipos de suelo de la siguiente manera

**Formación rocosa dura:** aquella cuya velocidad sísmica es superior a 4000 m/s

**Formación rocosa media:** aquella cuya velocidad sísmica está comprendida entre 2000 m/s y 4000 m/s

**Formación rocosa blanda:** aquella cuya velocidad sísmica es inferior a 2000 m/s.

## 6.2 Norma alemana DIN 4150

LA norma alemana tuvo mucha repercusión en el territorio europeo ya que esta norma sirvió de guía para la realización de otras normas en Europa, un ejemplo de esto es la norma **UNE 22-381** que tomo como guía a la norma alemana **DIN4150** como modelo para la elaboración de una norma en España que permita controlar todo el tema de vibraciones ligado a explosivos.

La norma **DIN4150** tiene una subdivisión muy parecida a la norma **UNE 22-381** en lo que respecta a la clasificación de los tipos de estructuras que se pueden ver afectados, y obviamente también analiza rangos de frecuencias para diferentes velocidades.

La siguiente clasificación que vamos a tener definida en esta norma son:

La norma tiene 3 clases definidas, las cuales son:

- Edificios resistentes a vibraciones
- Viviendas
- Construcciones históricas sensibles a vibraciones

En la siguiente tabla o grafico (12) podemos ver como son analizados los rangos de frecuencia y la velocidad de partícula que afecta al tipo de estructura, como la velocidad de partícula comprendida en ese rango.

La velocidad de la partícula en vibración viene definida por diferentes rangos de valores que van de acuerdo al tipo de estructura que tengamos lo que la norma **DIN 4150** ejemplifica claramente en su clasificación, tenemos diferentes rangos de frecuencia de vibración como podemos verlos aquí en el **grafico 12**.

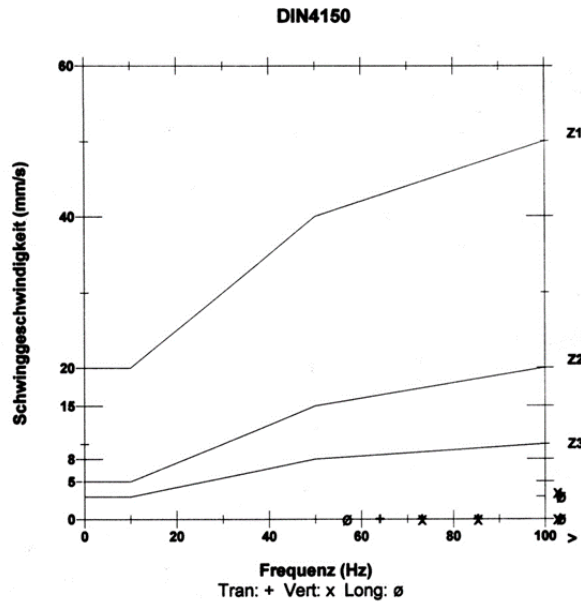
Tipo de estructura	Frecuencias en HZ	Frecuencias en HZ	Frecuencias en HZ
	0-10	10-50	50-100
Edificios resistentes a vibraciones	20 mm/s	20-40 mm/s	40-50 mm/s
Viviendas	5 mm/s	5-15 mm/s	15-20 mm/s
Construcciones históricas sensibles a vibraciones	3 mm/s	3-8 mm/s	8-10 mm/s

**Grafico 12- Norma DIN 4150**

Valores muy altos se verán afectando las estructuras más altas o mejor dicho los edificios más altos, ya que por el fenómeno de la oscilación estos son los más afectados.

En el grafico **13** podemos ver como la norma **DIN 4150** relaciona la frecuencia con las velocidades picos de la partícula y a su vez muestra cómo va relaciona con el tipo de estructura,





**Grafico 13**

La primera curva es para los edificios sensibles a vibraciones, la segunda referida a viviendas habitadas por personas y la última para estructuras resistentes a vibraciones sísmicas.

### Calculo de la velocidad de partícula según la norma DIN 4150

La norma **DIN 4150** proporciona estimaciones de como se espera que la velocidad se transmita dependiendo del tipo de terreno que esta tenga. Ya que dependiendo del tipo de terreno que tengas las ondas P y S suelen cambiar como se propagan.

Según **Arthul Nilson (análisis estructural)** la onda S en suelos blandos tiende a intensificarse caso contrario a un terreno rígido donde la onda tiende a debilitarse.

Un caso que plantea la norma **DIN 4150** para una roca de carácter tipo sedimentario, el cálculo de la velocidad esperada seria:

$$V = 969 \cdot K \cdot L^{0,6} \cdot R^{-1,5} \quad (\text{mm/s})$$

**Donde:**

**V= Velocidad de la partícula**

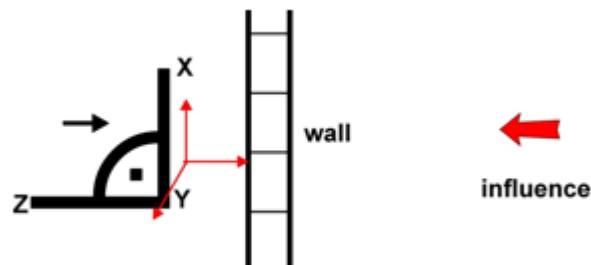
**K= Constante**

**L= Cantidad de explosivos que saldrán en un instante en KGS**

**R= Distancia donde está ubicada la estructura que podría ser afectada**

La norma Alemana **DIN 4150** también nos proporciona datos sobre como la vibración ataca la estructura, la fuerza ataca la estructura como una fuerza cortante, aclarando que esto se refiere a la fuerza que tiende a cortar perpendicularmente la estructura.

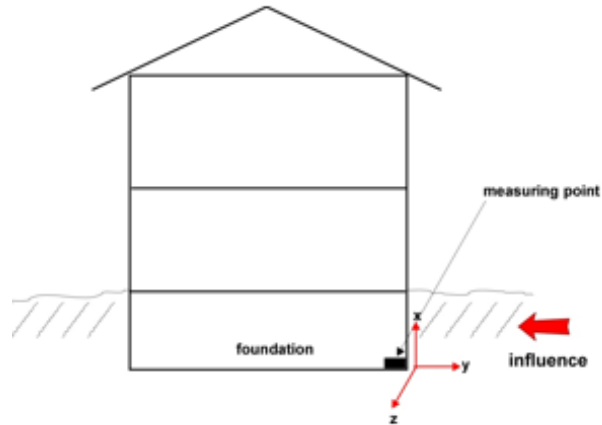
En los siguientes gráficos podemos ver como la norma **DIN 4150** contempla esta fuerza, caso que no se da en las otras normas por ejemplo la norma UNE 22-381



**Imagen 14- Fuerza cortante a un muro- Norma DIN 4150**

Se puede notar claramente como la influencia de la fuerza es en dirección perpendicular a la estructura.

También la norma **DIN 4150** menciona cuales serían los tipos de mediciones óptimos de estas fuerzas que se manifiestan como fuerzas cortantes a la estructura.



**Imagen 15- Punto de medición en fundación- Norma DIN 4150**

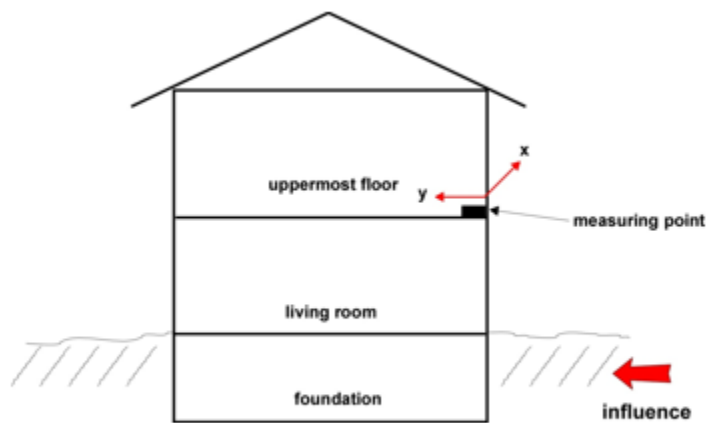
Según la norma **DIN 4150** en el caso que la medición se vaya a hacer dentro de la estructura el punto más óptimo sería lo más cercano al nivel de la fundación.



**Imagen 16- Colocación del sismógrafo**

En la imagen **16** podemos ver la colocación del sismógrafo a nivel de la fundación para medir la llegada de la onda a la estructura.

También la Norma **DIN 4150** nos da otro punto de medida en caso de que la medición de la onda sísmica se vaya a hacer en un punto que no sea la fundación de la estructura lo que podemos ver en la próxima imagen.



**Imagen 17- punto alto de medida- Norma DIN 4150**



**Imagen 18- Colocación de sismógrafo en punto alto estructura**

La norma **DIN 4150** contempla la estructuras de tipo de acero en la que proporciona valores de velocidad de partícula en función de en donde se esté utilizando el elemento de acero

En la siguiente tabla (19) que proporciona la norma **DIN 4150** se pueden ver los valores que contempla para dichos elementos.

Componente estructural Primario	Velocidad de partícula en mm/s
Elementos Soldados de acero (Uniones no rígidas)	100
Elementos de concreto armado (Acero dentro)	80
Componentes menores de acero	50

**Tabla 19- Norma DIN 4150**

### **6.3 Estados Unidos Federal USBM RI8507**

El U.S. BUREAU OF MINES en Estados Unidos es la entidad que está encargada de lo que es regular el tema de vibraciones en los estados unidos, se enfocan en las vibraciones que vienen de actividades mineras, el dato más importante a estudiar es la velocidad de partícula con respecto a la frecuencia asociada

La norma resume los datos velocidad de una forma en que dependiendo de la velocidad de partícula esta asocia un tipo de daño

Esta tabla nos explica cómo se sigue manteniendo el límite de la frecuencia alta, esto es porque el periodo no afectaría mucho a los edificios que no sea de gran altura pero sin embargo la frecuencia baja si sufre una variación ya que el periodo si afectaría, por esto es que se nota la variación entre la frecuencia alta y baja.

Dado esta condición la entidad encargada de manejar este tema en los estados unidos regulo este tema, se puede notar que aquí las frecuencias se manejan de una forma muy distinta a lo que concierne con las normas europeas ya que el tipo de estructura que suele frecuentar en los estados unidos son del tipo de gran altura por lo que el estudio de frecuencias de periodo corto y largo tiene mucho lugar en esta norma, (mismo caso que **Japón**).

Cabe Mencionar que todas las frecuencias menores a 40 HZ en esta normativa son consideradas bajas y todas las que sean mayores a 50 HZ son consideradas altas, en Estados Unidos la normativa funciona muy diferente al estándar Europeo.

**Valor pico de velocidad de partícula considerando la propuesta del U. S.**

<b>Tipo</b>	<b>Low Frequency</b>	<b>High Frequency</b>
<b>Estructuras modernas resistentes</b>	<b>19 mm/s</b>	<b>50 mm/s</b>
<b>Estructuras antiguas no resistentes</b>	<b>12.5 mm/s</b>	<b>50 mm/s</b>

**Tabla -20 Valor pico según U.S. BUREAU OF MINES**

## **6.4 Norma Italiana UNI 9916**

Esta norma que actualmente es con la que se controlan las vibraciones producidas por explosivos en Italia, esta norma ha sido creada por la comisión de vibraciones llamada UNI con la denominación de vibraciones transmitidas a estructuras fijas.

La norma **UNI 9916** proporciona unas orientaciones para la medición, procesamiento de datos y evaluación de los efectos de la vibración en los edificios.

Esta norma también encuentra cuales son las posibles fuentes de vibración como los factores que influyen en la reacción o respuesta que pueda tener el edificio a la vibración sometida, se contemplan las vibraciones que vienen desde el suelo (Explosivos, sismos, etc.) como también la

Presión del aire (viento). Pero como son vibraciones de carácter de transmisión continua en esta norma se le hace mención y no tienen ningún tipo de tratamiento en especial, caso contrario a las que son transmitidas por la corteza terrestre.

La norma **UNI 9916** nos da más o menos una especie de pasos para que se puedan escoger los datos y como se van a medir la manifestación de estos en los edificios.

Entrando a la comparación de cómo va el rango que afecta las estructuras en función de la frecuencia y la velocidad de partícula, la norma **UNI 9916** los clasifica de la siguiente manera.

- Edificios residenciales contruidos de manera profesional y en buen estado.
- Edificios de uso industrial y comercial con estructura relativamente aerodinámico.
- Edificios macizos y rígidos contruidos para su uso.

Para estos estados nos dice cómo se verían afectados por la velocidad de partícula pico por la cual la estructura puede ser afectada sin sufrir daños.

<b>Tipo de edificio</b>	<b>1 HZ a 10 HZ</b>	<b>10 a 50 HZ</b>	<b>50 HZ a 100 HZ</b>
	Velocidad=mm/s	Velocidad=mm/s	Velocidad=mm/s
edificios residenciales construidos de manera profesional y en buen estado	5	10	20
Edificios de uso industrial y comercial con estructura relativamente aerodinámico	10	20	40
Edificios macizos y rígidos construidos para su uso industrial y comercial	15	30	60

**Grafico -Tabla 22- Norma UNI-9916**

La norma **UNI 9916** tiene la misma condición que la norma española, se puede decir que no aporta nada nuevo en cuanto al estudio de las vibraciones ya que es muy parecido a lo que expone la norma UNE 22-381 y la Norma **Din4150**.



## 6.5 Normas Francesas (AFTES y recomendación de Medio Ambiente)

En Francia existen dos tipos de normas, la primera es la **AFTES** que es la que propone la asociación de trabajos subterráneos y la segunda que es la más aceptada, son una serie de recomendaciones que propone el ministerio de medio ambiente, esta es más aceptada porque ha tenido más revisiones.

La Asociación de trabajos subterráneos (AFTES), en sus publicaciones proporciona este grafico para saber cuáles son las velocidades admitidas de vibración en función de la velocidad de partícula y la frecuencia que se esté manejando.

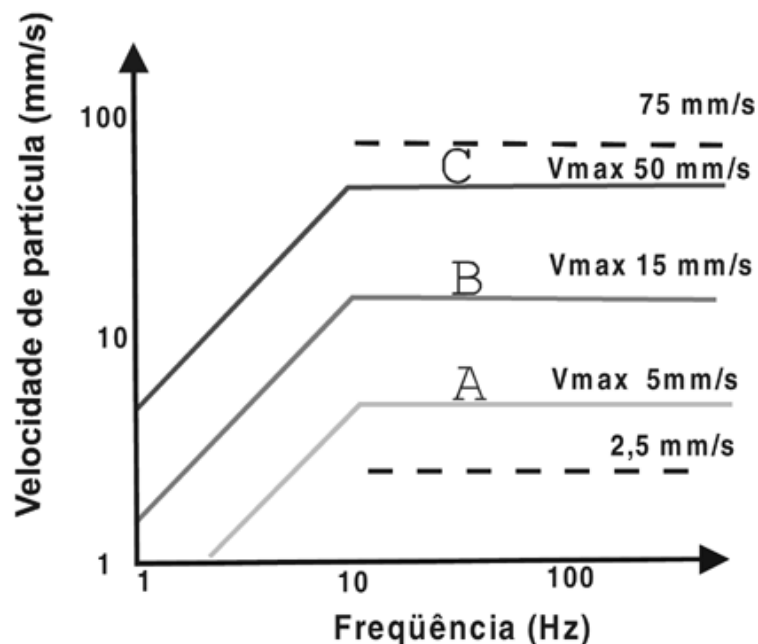


Gráfico 23 de frecuencia y Velocidad de partícula según **AFTES**.

Según la AFTES la clasificación sería la siguiente:

- A) Edificios no resistentes a vibraciones
- B) Edificios de resistencia moderada a vibraciones
- C) Edificio muy resistente a vibraciones

Observando el grafico propuesto por la AFTES el grafico quedaría resumido de la siguiente manera en función de la frecuencia y la velocidad de partícula.

Sin embargo en Francia el ministerio de medio ambiente, emitió una circular que esta es la más usada para actividades relaciones con los explosivos, esta circular se emitió en 1986 y es la más usadas en actividades mineras o actividades de desmonte de terreno para autovías, carreteras, etc.

<b>4 a 8 HZ</b>	<b>8 a 30 HZ</b>	<b>30 a 100 HZ</b>
2.5	7.5	25
5	15	50
7.5	22.5	75

Grafico o Tabla 24- Límites de velocidad de partícula, según Medio Ambiente

Según el ministerio de medio ambiente francés, tienen su clasificación estructurada de la siguiente manera:

- A) Edificios Resistentes
- B) Edificios sensibles
- C) Edificios Muy sensibles

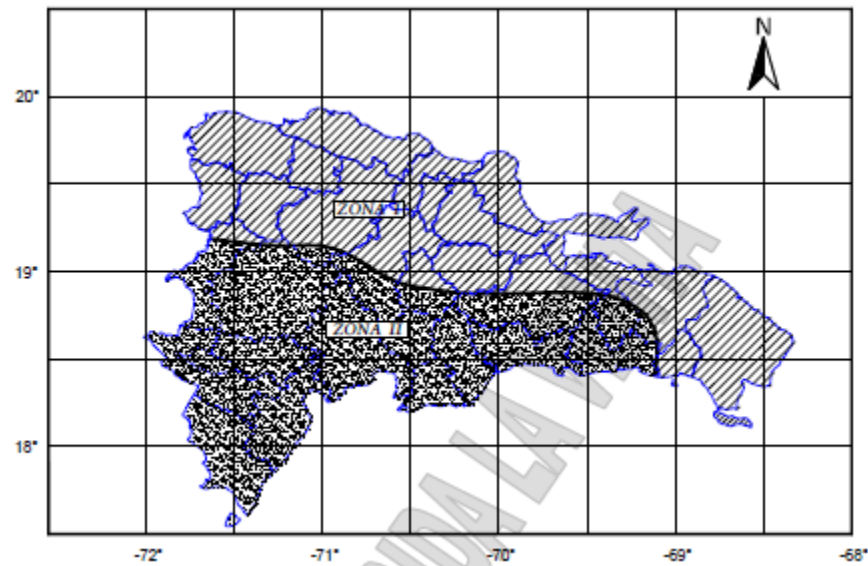
<b>Propiedad Mecánica</b>	<b>Frecuencia HZ</b>	<b>Frecuencia HZ</b>	<b>Frecuencia HZ</b>
	<b>4-8</b>	<b>8-30</b>	<b>30-100</b>
Edificios Resistentes	8 mm/s	12 mm/s	15 mm/s
Edificios Sensibles	6 mm/s	9 mm/s	12 mm/s
Muy sensibles	4 mm/s	6 mm/s	9 mm/s

**Grafico o Tabla 27- Velocidades para tipos de estructuras según medio ambiente**

La recomendación de medio ambiente pueda datarse de que es algo parecida a la norma **DIN 4150** en términos de restricción de frecuencia, siendo aún la norma UNE 22-381 más restrictiva ya que maneja rango de frecuencias más altos.

Posteriormente se hizo otra revisión de la recomendación de medio ambiente, pero esta no interesa analizarla porque se excluyen los edificios que son muy sensibles lo que por la condición de Republica Dominicana como país subdesarrollado es algo a muy tomar en cuenta, por la condición sísmica de la isla

## 6.6 Datos del suelo dominicano en función de ondas sísmicas



**Imagen 28 (Zonificación Dominicana) Según R-001**

Zonificación sísmica de la república Dominicana. Se puede observar que la República Dominicana está dividida en dos zonas de acuerdo a las características del terreno y de cómo viajan las ondas a través del mismo.

Cabe destacar que las zonificaciones sísmicas han sido establecidas de acuerdo a la aceleración espectral en referencia a periodos cortos **Ss** y también para periodos largos **S1**.

Teniendo en cuenta que la oscilación es la trayectoria descrita entre dos posiciones AB, por lo que se entiende que en fuerzas vibratorias o sísmicas un movimiento de periodo corto afecta más a estructuras de menor altura porque la oscilación entre ondas será menor en caso contrario pasa con los edificios de gran altura, los movimientos de periodo largo son más efectivos contra estos edificios ya que el tiempo entre onda y onda produce más oscilación.

### ZONIFICACIÓN SISMICA. VALORES DE $S_s$ y $S_1$

ZONA	$S_s$	$S_1$
I	1.55 g	0.75 g
II	0.95 g	0.55 g

**Imagen 29 Valores para  $S_s$  y  $S_1$ -R-001**

Se ha establecido para fines de reconocimiento del suelo en función de cómo se transmite la onda, el siguiente tipo de clasificación.

Clasificación del sitio	Designación	Velocidad Onda de Corte (m/s)
A	Roca Fuerte	$V_s > 1,500$
B	Roca	$760 < V_s \leq 1,500$
C	Suelo Muy Denso y Roca Blanda	$360 < V_s \leq 760$
D	Suelo Rígido	$180 < V_s \leq 360$
E	Suelo Blando	$V_s < 180$

Imagen o Tabla 30- Velocidad Onda de corte Según R-001

En caso de que el terreno no sea uniforme y presente en los primeros 30 m una estratigrafía con valores distintos en estos parámetros en cada uno de ellos, se procederá a calcular valores equivalentes a un estrato de un solo material, utilizando un procedimiento que tome en cuenta un espesor de suelo de hasta 30 M, constituidos por n estratos, donde i es el número de estrato, iniciando con la  $i=1$  el superficial de acuerdo a lo siguiente:

La velocidad de onda de corte equivalente vendrá dada por la expresión siguiente:

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}}$$

Donde:

$n$

$$\sum_{i=1}^n d_i = 30 \text{ m}$$

$V_{si}$  = velocidad de la onda de corte en el estrato  $i$  (m/seg)

$d_i$  = espesor del estrato  $i$  (m)

La influencia de los tipos de suelos en la respuesta sísmica estará determinada por los factores de sitio  $F_a$  y  $F_v$  que dependen de la clasificación del sitio, el tipo de suelo y de los valores de referencia del sitio vienen dados si es para la aceleración en periodos largos y periodos cortos.

#### Valores de $F_A$

Clase de sitio	Aceleración Espectral de referencia para periodos cortos ( $S_s$ ) <sup>a</sup>						
	$S_s = 0.30$	$S_s = 0.40$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.60$	$S_s = 0.70$	$S_s = 0.80$	$S_s \geq 0.90$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2
E	2.3	2.0	1.7	1.5	1.3	1.1	1.0

**Imagen o Tabla 31- Valores para  $S_s$  Según R-001**

### Valores de FV

Clase de sitio	Aceleración Espectral de referencia para periodos largos( $S_1$ ) <sup>a</sup>			
	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 \geq 0.50$
<b>A</b>	0.8	0.8	0.8	0.8
<b>B</b>	1.0	1.0	1.0	1.0
<b>C</b>	1.6	1.5	1.4	1.3
<b>D</b>	2.0	1.8	1.6	1.5
<b>E</b>	3.2	2.8	2.4	2.4

Imagen o Tabla 32- Valores para Fv Según R-001

Clase de sitio	Zona I , II	
	Fa	Fv
<b>A</b>	0.8	0.8
<b>B</b>	1.0	1.0
<b>C</b>	1.0	1.3
<b>D</b>	1.2	1.5
<b>E</b>	1.0	2.4

Imagen o Tabla 33- Resumen Fa y Fv Según R-001

En estos resúmenes se pueden denotar ciertas cosas, como influye el tipo de suelo en República Dominicana para la respuesta sísmica que estos dan, los valores FA y FV son factores de sitio que se toman en cuenta para la seguridad de la estructura en función al tipo de terreno que este y al tipo de onda que pueda afectarlo.

En las dos primeras tablas se puede notar cómo van los valores de FA y FV, periodos cortos y periodos largos en función del tipo de terreno, esto nos puede dar una idea de cómo es el comportamiento del terreno en la Republica Dominicana para los diferentes tipos de aceleraciones que puede sufrir el terreno producto de vibraciones

En esta tabla se puede notar como está clasificado los valores de respuesta para la zona de sismicidad 1 y 2 en la Republica Dominicana atendiendo al diferente tipo de roca por la cual se transmiten las ondas.



## 7- Comparación Cualitativa entre normativas

### 7.1 Comparativa para rango de frecuencias bajas

En este capítulo vamos a comparar lo que las normas exponen en cuestión de velocidad de partícula y frecuencia, ya habiendo visto las particularidades principales que expone cada norma, se puede ver en qué se diferencia cada una de otra.

Tipo de Estructura	Norma UNE 22-381	Norma DIN4150	Norma UNI 9916	Recomendación AFTES
	2-15 HZ	0-10 HZ	1-10 HZ	4-8 HZ
I	20	20	15	8 mm/s
II	9	5	10	6 mm/s
III	4	3	5	4 mm/s

La primera comparación se estudiara los rangos más bajos para las normativas:

Tabla 34 – Comparación entre Normativas

Como ya fue mencionado anteriormente, esta primera comparación se hace para los intervalos más bajos que presentan todas las normas, se puede observar que para la clasificación que envuelve a los tipos de estructuras que son más resistentes a vibraciones, la norma más restrictiva es la Recomendación **AFTES** ya que para ese tipo de edificios su velocidad máxima de partícula es **8mm/s**.

En el caso de los edificios tipo que son los medianamente resistentes a vibraciones, pero en este caso la que resulta ser más restrictiva es la norma alemana **DIN4150**, que es la que limita la velocidad de partícula en **5mm/s**.

Para el tercer tipo de estructuras, que son las no presentan buenas condiciones ante vibraciones La más restrictiva volvió a coincidir en la norma Alemana **DIN4150** limitando la velocidad de partícula en **3mm/s**.

## 7.2 Comparativa para rango de frecuencias medias

La segunda comparación se estudiara para el segundo intervalo que proponen dichas normativas, cable aclarar que en el caso de la norma UNE 22-381 dichas velocidades vienen dadas por el desplazamiento por lo que utilizando una misma fórmula (1) que propone la norma UNE 22-381, estos valores fueron ajustados en los rangos de frecuencias de 10 a 50HZ, la fórmula utilizada corresponde a la siguiente manera:

Tipo de Estructura	Norma UNE 22-381	Norma DIN4150	Norma UNI 9916	Recomendación AFTES
	<b>10-50HZ</b>	<b>10-50</b>	<b>10-50 HZ</b>	<b>10-50 HZ</b>
<b>I</b>	13.320-66.602	20-40 mm/s	30 mm/s	22.5 mm/s
<b>II</b>	5.969-29.845	5-15 mm/s	20 mm/s	15 mm/s
<b>III</b>	2.639-13.195	3-8 mm/s	10 mm/s	8 mm/s

**Tabla 35- Comparación entre normativas**

$$(1) V = 2 * \pi * f * d.$$

**Donde:**

**V** = velocidad en mm/s.

**$\pi$**  = 3,1416.

**f** = frecuencia en Hz.

**d** = desplazamiento permisible indicado en la norma

En el primer caso que es el que trata los edificios resistentes, se puede observar que la más restrictiva en frecuencias bajas es la norma UNE 22-381, y cuando se habla de restricción en el rango de frecuencias la más restrictiva resulta la Norma AFTES.

Para el segundo caso que es la mediana resistencia a vibraciones, la norma DIN4150 y la recomendación AFTES limitan a los mismos rangos de velocidades de partícula que serían el máximo de 15mm/s

Para el tercer caso que son las estructuras no resistentes, nuevamente la norma DIN4150 y la recomendación AFTES quedan supuestas a las mismas limitantes en velocidad de partícula, limitando ambas a 8 mm/s, y para frecuencias bajas la norma UNE 22-381.

### 7.3 Comparativa para rango de frecuencias altas

Comparación para los rangos más de frecuencia para cada normativa

Tipo de Estructura	Norma UNE 22-381	Norma DIN4150	Norma UNI 9916	Recomendación AFTES
	>75HZ	50-100	50-100 HZ	50-100 HZ
I	100	40-50	60	75 mm/s
II	45	15-20	40	50 mm/s
III	20	8-10	20	25 mm/s

**Tabla 36- Comparación entre normativas**

En este caso se notan lo que son frecuencias altas para las diferentes normativas.

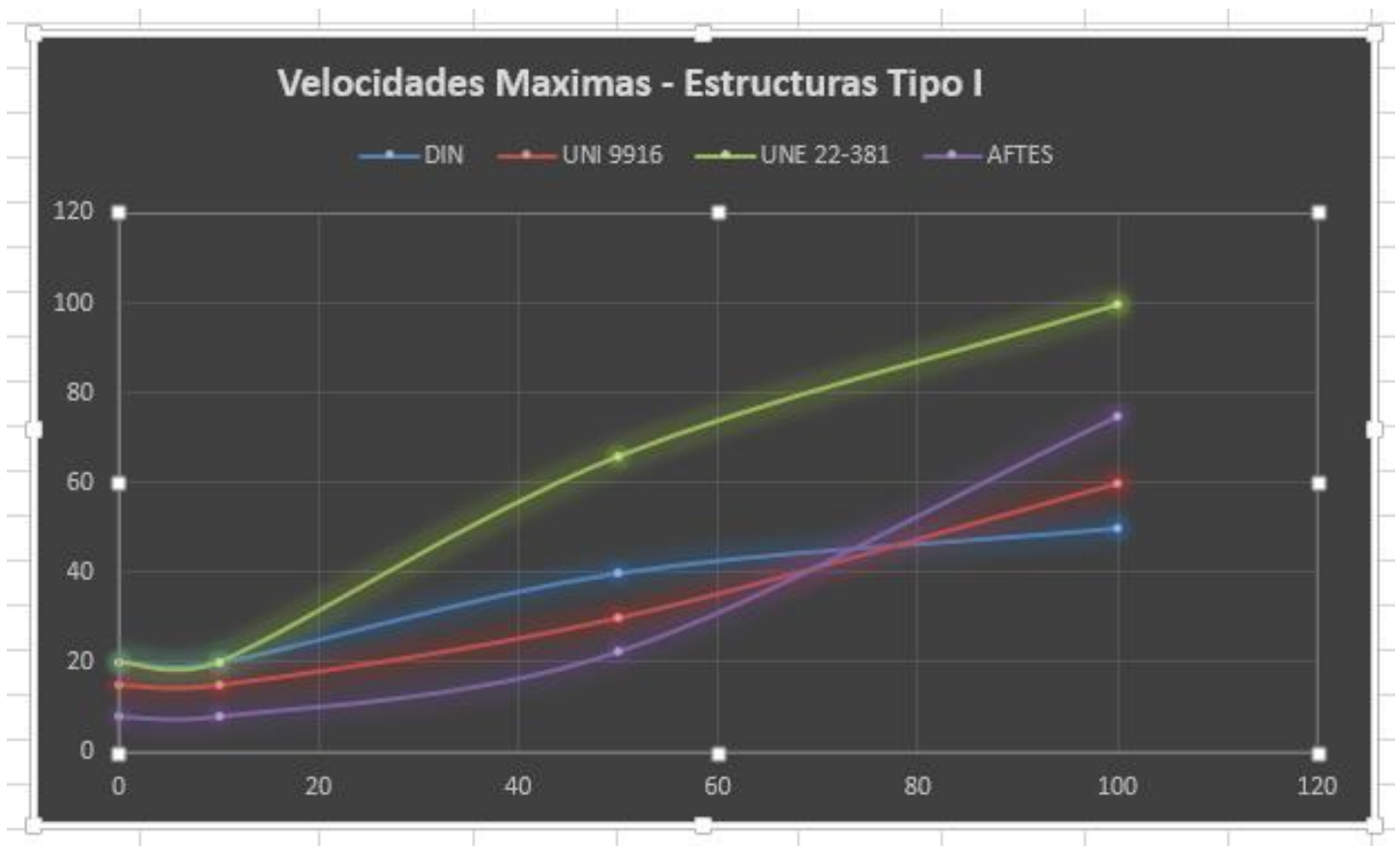
Para los edificios que son muy resistentes a vibraciones nos encontramos que la norma más restrictiva es la norma **DIN4150** ya que para frecuencias entre **50 y 100HZ** limita la velocidad de partícula a rangos de **40-50 mm/s** por lo que para este tipo de estructuras la norma **DIN4150** restringe mucho mas

En el segundo caso cuando nos vamos a estructuras medianamente resistentes nos encontramos que nuevamente la norma **DIN4150** resulta ser más restrictiva para la velocidad de partícula limitándola a una velocidad entre **15-20 mm/s**

En el tercer rango que son para las estructuras que tienen una mala resistencia a ondas vibratorias, la norma **DIN4150**, resulta más restrictiva para este caso limitando la velocidad de partícula en un rango de **8-10 mm/s**

## 7.4 Grafico para todas las frecuencias en estructuras de tipo I

En los siguientes gráficos se puede observar cómo se comportan las normas en todos los rangos de frecuencias para un determinado tipo de estructura, esto nos lleva a constatar lo que analizamos en los párrafos anteriores



**Imagen 35**

**Comportamiento de las normas para las estructuras de Tipo 1 en todos los rangos de frecuencia. El eje X representa los rangos de frecuencia en HZ y el Eje Y las velocidades de partícula en mm/s**

Para las estructuras de tipo 1 se ve claramente que en los rangos de frecuencias bajos y medios la más restrictiva coincide con l AFTES, mientras que para rangos altos la más restrictiva es la norma DIN 4150.

## 7.5 Grafico para todas las frecuencias en estructuras de tipo II

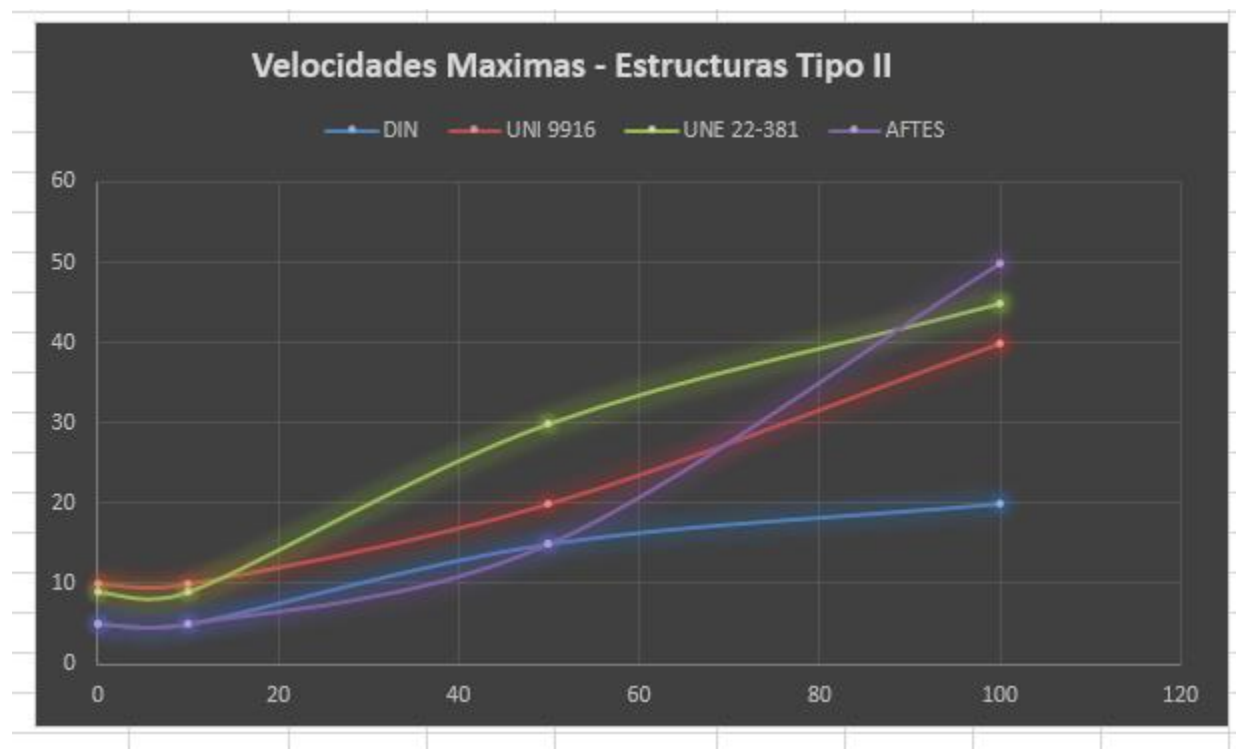


Imagen 37

**Comportamiento de las normas para las estructuras de Tipo II en todos los rangos de frecuencia. El eje X representa los rangos de frecuencia en HZ y el Eje Y las velocidades de partícula en mm/s**

Para este caso se nota como en frecuencias bajas la Norma DIN 4150 y la AFTES son las más restrictivas, ambas coincidiendo en el punto de frecuencias medias pero para las frecuencias altas nuevamente la DIN 4150 es la que más restringe.

## 7.6 Grafico para todas las frecuencias en estructuras de tipo III

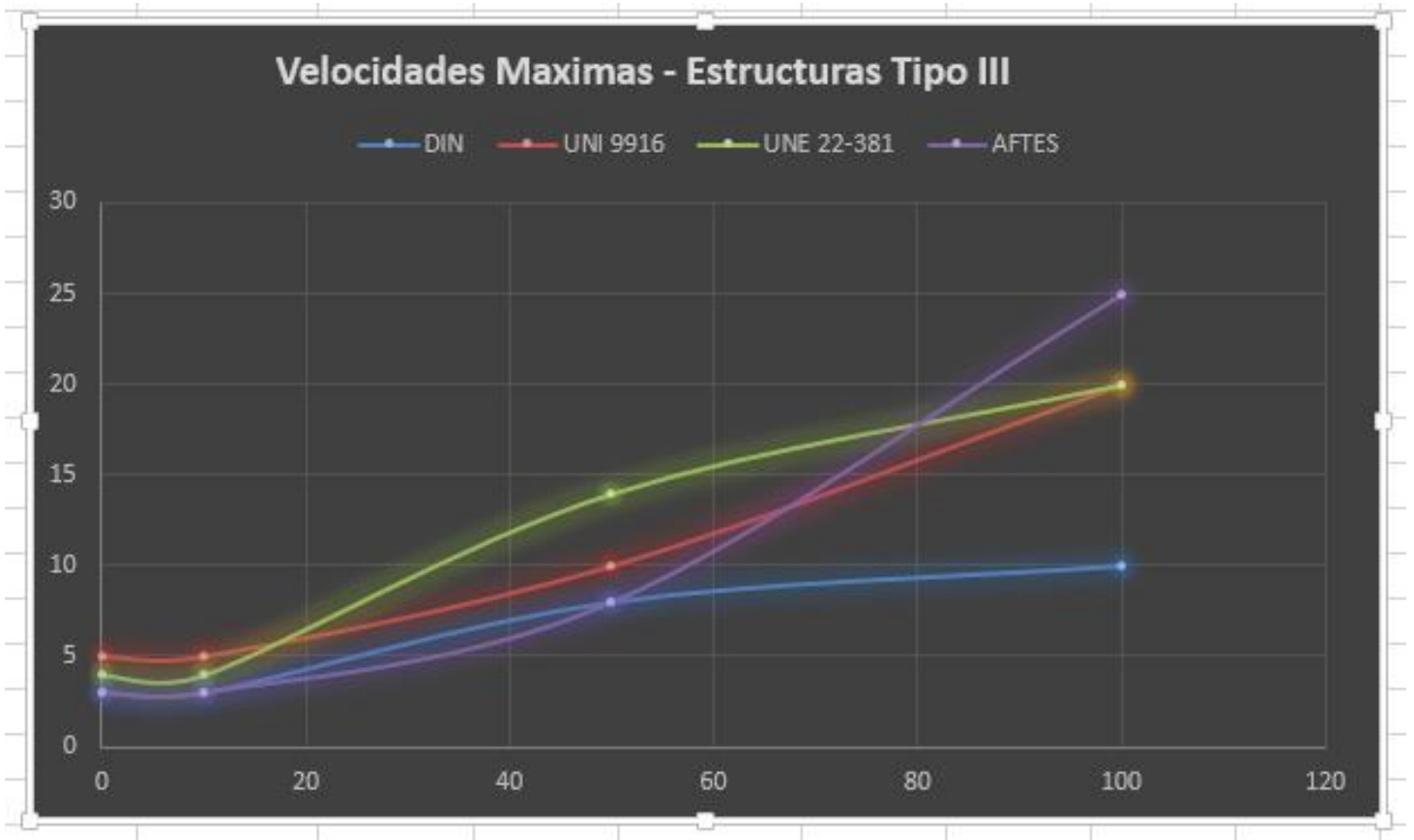


Imagen 39

Comportamiento de las normas para las estructuras de Tipo III en todos los rangos de frecuencia. El eje X representa los rangos de frecuencia en HZ y el Eje Y las velocidades de partícula en mm/s

Nuevamente para rangos bajos y altos la norma **DIN 4150** es la que más restringe para las estructuras no resistentes, y para el rango aparte de que es coincidente en un punto de frecuencia con la norma AFTES, en el intervalo se encuentra muy cercana a esta.

## 8- Conclusiones

Observando los rangos en que las normativas fueron comparadas, se pueden exponer los siguientes resultados.

Cuando se estudian frecuencias medias y frecuencias altas para los tipos de estructuras de resistencia media y los que no tienen resistencia, la norma **DIN 4150** es la que resulta más restrictiva, esto se puede constatar en los gráficos que relacionan los 3 tipos de estructuras para todas las frecuencias que exponen las normas, para el tipo II de estructura y para el tipo III en las frecuencias bajas y altas es la que más limita la velocidad de partícula.

República Dominicana es una isla aun en desarrollo de infraestructura, por lo que es normal que la mayoría de las viviendas presenten defectos (efecto columna corta) ante vibraciones tanto provocadas por el hombre como por la naturaleza (caso sismos), por lo que de las normas estudiadas la norma **DIN 4150** ajusta perfectamente para las cualidades de la isla, lo que en un futuro podría servir como modelo para una norma de elaboración propia en República Dominicana.

Igualmente la norma **DIN 4150** ofrece instrucciones específicas sobre cómo actúan las fuerzas al momento de llegar a las estructuras lo que es un acápite muy importante a tener en cuenta ya que como la Republica Dominicana tiene una parte que está comprendida por una gran cantidad de terreno arcilloso, este es favorable para la propagación de las ondas vibratorias a través del terreno

Por lo que concluimos con lo siguiente: La norma **DIN 4150** es la más restrictiva para velocidades de partículas en estructuras que presenten problemas a velocidades de vibración y por el predominio que existe en República Dominicana de este tipo de estructuras lo más conveniente para el desarrollo de una norma propia, seria apoyarse en la norma Alemana **DIN 4150**.



## 9- Bibliografías Consultadas

- Robert L. Mott, (1996). Resistencia de Materiales Aplicada
- Arthul Nilson, Diseño de estructuras de concreto
- Norma UNE 22-381, Criterios de prevención con explosivos
- Norma UNI 9916, Criterios para la evaluación de vibraciones en edificios
- Norma Alemana DIN 4150, Vibraciones estructurales
- Asociación de trabajos subterráneos Francia (Aftes), Recomendaciones y efectos sísmicos de los explosivos
- Norma Federal USBM R18507, Efectos de las ondas en los terrenos
- Reglamento Sísmico Dominicano R00-1